



# 地热发电环境、健康与安全指南

## 前言

《环境、健康与安全指南》（简称《EHS指南》）是技术参考文件，其中包括优质国际工业实践（GIIP）所采用的一般及具体行业的范例。<sup>1</sup>。如果世界银行集团的一个或多个成员参与项目，则应根据这些成员各自政策和标准的要求执行本《EHS指南》。本《EHS指南》具体针对森林采伐行业，应与《通用EHS指南》共同使用，后者提供的指南针对所有行业都可能存在的EHS问题。如果遇到复杂的项目，可能需要使用针对多个行业的指南。在以下网站可以找到针对各行业的指南：<http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>

《EHS指南》所规定的指标和措施是通常认为在新设施中采用成本合理的现有技术就能实现的指标和措施。在对现有设施应用《EHS指南》时，可能需要制定具体针对该场所的指标，并需规定适当的达标时间表。

在应用《EHS指南》时，应根据每个项目确定的危险和风险灵活处理，其依据应当是环境评估的结果，并应考虑到该场所的具体变量（例如东道国具体情况、环境的吸收能力）以及项目的其他因素。具体技术建议是否适用应根据有资格和经验的人员提出的专业意见来决定。

如果东道国的规则不同于《EHS指南》所规定的指标和措施，我们要求项目要达到两者中要求较高的指标和措施。如果根据项目的具体情况认为适于采用与本《EHS指南》所含规定相比要求较低的指标和措施，则在针对该场所进行的环境评估中需要对提出的替代方案作出详尽的论证。该论证应表明修改后的指标能够保护人类健康和环境。

## 适用性

本指南适用于地热发电。附件 A 给出了地热发电的一般性介绍。有关电力输配问题的讨论请见电力输配环境、健康与安全指南。本文由以下几个部分组成：

- 1 具体行业的影响与管理
  - 2 指标与监测
  - 3 参考文献和其他资料来源
- 附录 A 行业活动的通用描述

<sup>1</sup> 定义是：熟练而有经验的专业人员在全球相似情况下进行同类活动时，按常理可预期其采用的专业技能、努力程度、谨慎程度、预见性。熟练而有经验的专业人员在评估项目可采用的污染防控技术时可能遇到的情况包括（但不限于）：不同程度的环境退化、不同程度的环境吸收能力、不同程度的财务和技术可行性。



## 1 具体行业的影响与管理

本章概述地热发电的 EHS 问题，并提出如何对其进行管理的建议。关于如何管理大多数大型工业活动建造阶段和报废阶段各种常见 EHS 问题的建议包含于《通用 EHS 指南》。

### 1.1 环境

在地热发电行业可能产生的环境问题，主要包括<sup>1</sup>：

- 污水
- 废气排放
- 固体废物
- 井喷和管道故障
- 水的消耗和抽提

#### 污水

##### 钻井液和钻屑

勘探、开发和运行过程中可能须安装蒸汽生产井和注入井。钻井过程中采用的水基或油基钻井液可能含有一些化学添加剂，用以帮助控制钻孔内压差和防止黏性崩塌。油基泥浆中的钻屑，由于含有油类污染物，可能需要给予特殊关注并实行特定的现场或现场外处理和处置。有关钻井液和钻屑的管理建议包括：

- 在处理（如清洗）、回收和/或最终处理和排放前，在衬有防渗膜的专用储罐或坑渠中回收和储存油基钻井液及岩屑；
- 在可行的情况下，重复使用钻井液；
- 拆除储罐或坑渠以避免油性物质在当前或未来释放到土壤和水源中；根据其特性，将所含油性物质作为非危险废物上的危险品进行处理和排放。（参阅《通用 EHS 指南》）；
- 进行毒性评估后将水基钻井液排入井孔。无毒的水基钻屑通常可重复使用（如作为建筑填料）或弃置在垃圾填埋设施；
- 对地热井进行酸处理的过程中，将防漏井套下放到适合当地地质构造的深度，以避免酸性液体泄漏进入地下水。

##### 废地热流体

废地热流体由来自蒸汽分离器的排出水（排出水即是最初伴随着蒸汽从地热储层而来的水分）以及发电之后得到的废蒸汽的冷凝物构成。在蒸发过程中使用冷却水塔设施通常会直接将地热凝结水引入冷却循环。地热凝结水的特点是高温、低pH值、含有重金属。一般情况下，蒸汽分离器的排出水的pH值呈中性并且可能含有重金属。<sup>2</sup> 地层蒸气和地层水的质量各异，取决于地热资源的特点。

<sup>1</sup> Duffield 和 Sass (2003)

<sup>2</sup> Kestin (1980)



建议采取以下地热流体管理措施：

- 根据选定的冷却系统，仔细评估地热流体排放的潜在环境影响；<sup>1</sup>
- 如果地热设施不将所有地热流体重新注入地下，那么根据《通用 EHS 指南》的规定，该设施的污水排放质量应与接收水体的使用要求一致。这一过程包括根据地方性法规或基于对接收水体潜在影响的特定现场标准调整污水温度。如果发现地热流体中的重金属浓度较高，那么将其排入天然水体时要十分谨慎，甚至可能需要建设和运营复杂和昂贵的处理设施；
- 选择回注地热流体时，应在注入井中安装防渗漏套管，并将套管下至能容纳地热储层的地质构造的深度；
- 应考虑重复使用排出地热流体的机会，包括：
  - 使用二元发电技术；
  - 如果排出水的水质（包括总体和溶解的重金属浓度水平）符合下游工业用水的质量要求，则可将排出水用于下游的工业过程。下游工业使用的例子包括供热应用，如温室水产养殖业，空间加热、食品/水果加工和宾馆/温泉的康乐用途等；
  - 依照《通用 EHS 指南》所述，根据可行的处理和排放要求，对使用过的流体进行排放，排放质量应与接收水体的使用要求保持一致。

## 废气排放

与化石燃料燃烧发电厂的排放量相比，地热发电厂的废气排放量是微乎其微的。<sup>2</sup> 采用闪蒸或蒸汽干燥技术的地热发电厂的主要潜在空气污染物是硫化氢和汞。蒸汽中也存在二氧化碳，尽管其排放量与源自矿物燃料燃烧的排放量相比也是微不足道的。根据地热资源的不同特点，潜在的空气污染物的存在和浓度可能有所不同。

在钻井和流量测试期间以及使用露天接触冷凝器/冷却塔系统时，可能会出现废气排放，除非将冷凝器抽空然后重新向其中注入地热流体。井场和地热发电场站的通风系统的消声器也可能是潜在的硫化氢排放源，这些排放主要是在运行条件混乱，需要进行排风时发生。二元发电技术和联合闪蒸/二元发电技术（采用非接触式冷凝技术），由于回注全部地热流体和气体，其硫化氢或汞的大气排放已接近零排放。

建议采取以下措施管理空气污染物的排放：

- 在考虑替代发电技术对环境的潜在影响的背景下，考虑将全部或部分气体与地热流体一起回注的技术选项。同时考虑其他一些主要因素，如对该技术相对地质资源条件的适应性以及经济上的考虑（例如，投资和运行/维修保养费用）；
- 全部回注不可行时，如果根据对周围环境的污染物浓度所受潜在影响的评估，污染物的浓度水平将不会超过适用的安全和健康标准，即可排出硫化氢和不凝结的挥发性汞。
- 如有必要，使用消减系统以消除不冷凝气体中的硫化氢和汞的排放。控制硫化氢的实例

<sup>1</sup> 某些情况下可能更倾向于回注地热流体以延长地热储层的寿命。

<sup>2</sup> 例如，地热发电厂的硫氧化物和氮氧化物的排放量约为装机容量相同的煤电厂的 1%，二氧化碳排放量约为 5%（Duffield 和 Sass（2003））。



子包括干/湿洗涤系统或液相还原/氧化系统，而对汞排放的控制包括配合进一步分离或吸附方法的气流冷凝技术。

## 固体废物

地热技术不产生大量的固体废物。硫、硅土和碳酸盐沉淀通常是从冷却塔、空气洗涤系统、涡轮机、蒸汽分离器收集的。这种污泥被列为危险品的可能性，取决于其浓度和浸出硅化合物、氯化物、砷、汞、钒、镍和其他重金属的含量。有关危险废物管理的建议请参阅《通用EHS指南》，涉及对其在适当废物处理设施中进行最终处理和排放前所需的现场储存和控制措施。如果污泥的质量可以接受且无显著的可浸出金属含量（即是非危险废物），作为一种可能的处置方案，可考虑将其作为回填材料在现场或场外重复使用。可回收的固体废物如硫饼等应由第三方厂商在可能的范围内进行回收。<sup>1</sup> 处置途径最初应根据适当的沉淀物化学分析来确定，应定期（例如每年）重复这种分析以适应可能的地理化学变化及其对废物质量的影响。

## 井喷和管道故障

虽然非常罕见，钻井或设施运行过程中仍可能发生井喷和管道故障。这些故障可能会导致有毒钻井添加剂和流体的释放以及硫化氢气体从地下地层中排出。管道破裂也可能导致含重金属、酸、矿藏和其他污染物的地热流体和蒸汽从表面释出。

建议采用的有关井喷和管道破裂的污染预防和控制措施包括：

- 定期维修井口和地热流体管道，包括腐蚀控制和检查、压力监测和使用截止阀等井喷预防设备；
- 设计应对井喷和管道破裂的紧急反应措施，包括围堵地热流体溢漏的措施。<sup>2</sup>

《通用 EHS 指南》还进一步讨论了应急反应的计划。

## 水的消耗和抽提

地热发电的多种工序活动都需要抽提地表水，包括钻井、地下地层吸收能力测试以及冷却系统等。用于非接触式单通道冷却的地表水通常会返回水源，返回的水热含量有所增加，但水质没有出现整体变化。

建议采取以下管理措施节约并保护用于支持地热发电活动的水源：

- 评估记录水源溪流短期和长期变化的水文记录，确保低流量期的流量仍保持在临界流量，不会妨碍鱼类的通过或对水生生物群产生负面影响；
- 监测污水和接收水体的温差以符合当地有关排热的法规，没有类似规定时，须符合本文件上文所述的规定。

## 1.2 职业健康与安全

地热发电项目建设和退役阶段的职业健康与安全问题与其他大多数工业设备相同，其防控

<sup>1</sup> 有利应用的实例有农用化肥厂生产等。

<sup>2</sup> 更多信息请见 Babok 和 Toth (2003)



方法在《通用 EHS 指南》中对有所论述。

地热发电项目的具体健康与安全问题包括以下几方面的接触可能性：

- 地热气体
- 密闭空间
- 热量
- 噪声

## 地热气体

地热流体非正常泄漏时（如管道故障）或在限定区域如管道、涡轮机、冷凝器等进行维修作业时，可能出现暴露于地热气体（主要是硫化氢气体）的职业健康风险。硫化氢的危害可能会有所不同，这取决于该设施特定的地点和地质构造。

在有可能暴露于硫化氢气体达到有害浓度的环境中时，地热发电设施应考虑采取以下管理措施：

- 安装硫化氢的监测和预警系统。根据对易出现硫化氢排放和工作接触的工厂所进行的评估，确定监测器的数量和位置；<sup>1</sup>
- 制定硫化氢释放事故的应急反应计划，该计划应包括从疏散到恢复正常运作的所有必要的方面；
- 为地热发电设施的紧急反应小组以及在暴露风险高的地点工作的工人提供个人硫化氢监测器、自携式呼吸器、紧急氧气供应以及安全和有效使用方面的培训；
- 为有人的建筑物提供足够的通风设备以防硫化氢气体的累积
- 在被指定为“限定空间”（见下文）的区域制定和实施限定空间进入程序；
- 为工人提供事实清单或其他随时备用的信息，说明液态和气态化学品的组成并解释它们对人体健康和安全的可能影响。

## 密闭空间

在地热发电行业和其他一些行业中，密闭空间的危险可能是致命的。不同地热发电厂的工人进入限定空间的程序和可能产生的事故各有不同，这些取决于设施设计、现场设备以及地下水或地热流体的存在状况。特定的限制进入的空间区域包括汽轮机、冷凝器、冷却水塔（维修中）、监测设备室（采样中）以及井孔“窖”（为钻井而制造的低压区）。地热发电设施应按照《通用 EHS 指南》的规定制定并实施限定空间的进入程序。

## 热量

施工期间以及管道、井和相关热设备的运行和维护期间可能出现职业性热接触。非正常的热接触风险包括钻井过程中可能出现的井喷事故，以及蒸汽围堵和运输设施的故障。

建议采取以下措施预防和控制热接触

<sup>1</sup> 地热发电设施或个人硫化氢监测器的警报限定应低于基于职业安全专家意见的建议安全标准。



- 减少高温环境下的工作时间，并确保饮用水供应；
- 工人近距离接触包括发电设备、管道等在内的热设备时对设备表面进行屏蔽；
- 使用适当的个人防护装备（PPE），包括绝缘手套和绝缘鞋等；
- 在勘探性钻井过程中实施适当的安全程序。

## 噪声

地热设施的噪声源主要与钻井、蒸汽闪蒸和通风有关。其他噪声源包括泵站设备、涡轮机以及临时的管道冲洗工作。某些钻井和蒸汽排放过程中的临时噪声水平可能超过 100dB。消减噪声技术包括在钻井过程中使用岩石消音器、隔声和屏障，另外蒸汽处理设施的设备上使用消音器。《通用 EHS 指南》进一步讨论了职业噪声和振动的管理以及适当的个人防护装备的使用。

## 1.3 社区健康与安全

地热发电厂的建造、操作和退役过程中的社区健康与安全影响与其他大多数工业设备相同，并在《通用 EHS 指南》中有所论述。

地热发电厂运营过程中的社区健康与安全问题包括：

- 硫化氢接触
- 基础设施的安全
- 对水资源的影响

### 硫化氢接触

除了以上章节所描述的预防和控制硫化氢气体排放和接触的内容外，在规划工艺以及采取必要的防范措施时，还须认真考虑社区成员可能接触的风险。社区接触风险较大时可采用的应对措施包括：

- 确定重要潜在排放源的位置时考虑附近社区的硫化氢气体接触。（考虑邻近程度、形态和常见风向等主要环境因素）；
- 安装硫化氢气体监测网，硫化氢监测器的数量和地点通过大气扩散模型确定，同时还要考虑到污染源的位置以及社区居民使用和居住的区域；
- 连续运行硫化氢气体监测系统以便实现早期发现和预警；
- 制定有社区参与的应急反应计划，以便对监测系统的警报作出有效反应

### 基础设施的安全

社区可能会面临与地热井及相关管道网络相关的身体危害。引起危害的可能包括接触灼热部件、设备故障，以及存在一些运行中的或报废的基础设施，从而可能产生密闭空间或故障危害等。建议采取以下管理技术来减轻这些影响：

- 布置控制进入的装置，如围栏和警告标志等，以防止进入有危险的基础设施并对存在的危险发出警告；
- 尽量缩短管道系统的必要长度；



- 考虑通过地下管道或热挡板防止市民接触灼热的地热管道；
- 对管道及进出道路等基础设施进行封闭管理，包括：清洗、拆卸、设备拆除等；有保证时通过清洗分析土壤质量；对现场和封锁区域进行植被重建；在必要时对进出道路进行重整和恢复；
- 井口的封闭管理包括水泥密封、拆除井口以及在有必要时在井口周围进行回填降压。<sup>1</sup>

## 对水资源的影响

地热流体的提取、回灌和排放可能会影响地表水和地下水资源的质量和数量。具体影响的例子包括在提取和回灌过程中无意地将地热流体引入较浅的生产含水层，或由于撤回工作减少地热温泉的流量。建议采取以下措施来防止和控制这些影响：

- 建造一个综合性的地质和水文地质模型，包括整体的地质、结构和建筑构造、储层大小、边界、岩土工程以及承受水压的岩石的性质等；
- 在项目规划阶段完成水文地质和水平衡的评估，确定地热提取和回灌点之间的液压内在联系以及任何饮用水源或地表水的特点；
- 通过谨慎选址、妥善设计以及套管系统的安装将蒸汽生产源与可能会用作饮用水源的较浅的含水地层隔离。
- 通过严格的排放标准和适当的手段，使水的质量和温度达到可接受标准，从而避免对地表水的负面影响。

## 2 指标与监测

### 2.1 环境

#### 废气排放和污水排放指南

##### 废气排放

如果冷凝过程包括蒸汽与冷却水的直接接触，则冷却塔可能会产生少量的无组织的废气排放，例如硫化氢、汞蒸汽及二氧化硫。该行业的工艺污水排放和废气排放指导值则体现了在公认的法规框架内各国相关标准所反映的国际行业惯例。虽然地热发电项目在其建设和运营阶段一般不产生显著的点排放源排放，硫化氢或其他废气的排放仍不应导致周围环境的污染物浓度超过国家规定的空气质量标准，或在不存在相关国家标准时不应超过国际公认标准<sup>10</sup>。

##### 污水排放

废地热流体通常被回注到主岩层，从而造成包括排出水在内的少量污水排放。地热污水中的潜在污染物会因主岩层构成的矿物学、地热水的温度、相关场所的设备生产流程而存在差异。如废地热流体未被回注，其排放应符合《通用 EHS 指南》中的特定场所地表水排放水

<sup>1</sup> 地热发电设施和个人硫化氢监测器的报警限值设定应低于基于职业健康专家建议的推荐安全标准。



平。

## 环境监测

无论是在正常操作还是在异常条件下，该行业环境监测项目的执行都应当面向可能对环境产生重大潜在影响的所有生产活动。环境监测活动应当以适用于特定项目的废气、废水和资源利用的直接或间接指标为基础。

环境监测的频率应当足以监测参数提供具有代表性的数据。环境监测应由受过系统训练的人员使用经正确校准的、维护良好的设备按照检测和记录程序进行。监测得出的数据应进行定期分析和检查，并与操作标准进行对比，以便采取合适的矫正行动。环境、健康与安全通用指南中介绍了对废气废水监测的抽样和分析方法。

## 2.2 职业健康与安全指南

### 职业健康与安全指南

职业健康与安全性能应按国际公认的接触风险指南进行评估，包括美国政府工业卫生学家会议（ACGIH）<sup>1</sup>发布的阈值（TLV®）职业接触风险指南和生物接触限值（BEI®）、美国职业安全健康研究所（NIOSH）<sup>2</sup>发布的危险化学品的袖珍指南、美国职业安全健康局（OSHA）<sup>3</sup>发布的允许接触极限（PEL）、欧盟成员国<sup>4</sup>发布的指示性职业接触限值以及其他类似资源。

### 事故率和死亡率

各种项目均应尽全力保证项目工人（不管是直接雇佣或是间接雇佣的工人）的生产事故为零，尤其是那些会导致误工、不同等级残疾或甚至死亡的事故。设备生产率可以参考相关机构（如美国劳工部劳动统计局和英国健康与安全执行局）<sup>5</sup>发布的信息，按照发达国家的设备性能设定基准。

### 职业健康与安全监测

应当对工作环境进行监测，以发现特定项目的职业危险物。作为职业健康与安全监测项目的一部分，监测操作应当委派有适当资质的专业人员<sup>6</sup>制定并执行。厂方还应维护一份有关职业事故、疾病和危险事件及事故的记录。《通用EHS指南》中介绍了职业健康与安全监测项目的其他指南信息。

<sup>1</sup> 可登录 <http://www.acgih.org/TLV/>和 <http://www.acgih.org/store/>获取相关信息。

<sup>2</sup> 可登录 <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>获取相关信息。

<sup>3</sup> 可登录 [http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_table=STANDARDS&p\\_id=9992](http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992) 获取相关信息。

<sup>4</sup> 可登录 [http://europe.osha.eu.int/good\\_practice/risks/ds/oel/](http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/)获取相关信息。

<sup>5</sup> 可登录 <http://www.bls.gov/iif/> 和 <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm> 获取相关信息。

<sup>6</sup> 有合格资质的专家包括执证的工业卫生学家、注册职业卫生学家、执证安全专家或有同等资质的人员。



### 3 参考文献与其他资料来源

- [1] ANZECC (Australian and New Zealand Environment Conservation Council). ANZECC. Available at <http://www.deh.gov.au/about/councils/anzecc> (accessed on March, 2006).
- [2] AS/NZ (Australian/New Zealand Standard on Risk Management). 1999. Australian/New Zealand Standard on Risk Management (AS/NZ 4360: 1999). Auckland, NZ: AS/NZ. Available at <http://www.uq.edu.au/hupp/index.html?page=30899&pid=30896> (accessed on March 2006).
- [3] Axelsson, G., and Gunnlaugsson, E. 2000. “Background: Geothermal utilization, management and monitoring.” In Long-Term Monitoring of High-and Low Enthalpy Fields under Exploitation, World Geothermal Congress 2000 Short Courses, Japan, 3–10. Beppu, Japan.
- [4] Babok, B., Toth, A., 2003. Geothermal energy production and its environmental impacts in Hungary. International Geothermal Conference, Reykjavik, 2003., pp. 19-25.
- [5] Bay Area Air Quality Management District, Regulation 9: Inorganic Gaseous Pollutants, Rule 5 – Hydrogen Sulfide from Geothermal Power Plants. Available at <http://www.baaqmd.gov/dst/regulations/index.htm#reg9> (accessed on September 11, 2006).
- [6] Brophy, Paul. 1997. “Environmental Advantages to the Utilization of Geothermal Energy.” Renewable Energy 10: 2–3, table 3.374.
- [7] Bloomfield, K., Moore, J.N., and R.M. Neilson Jr. (2003). Geothermal Energy Reduces Greenhouse Gases. Davis, CA.: Geothermal Research Council. GRC Bulletin, April 2003.
- [8] Brown, K. L. 2000. “Impacts on the physical environment.” In Brown, K.L., ed., Environmental Safety and Health Issues in Geothermal Development, World Geothermal Congress 2000 Short Courses, Japan, 43—56. Beppu, Japan.
- [9] California Energy Commission. 2002. Overview of Geothermal Energy in California. Sacramento, CA. California Energy Commission. Available at <http://www.energy.ca.gov/geothermal/overview> accessed on March 2006.
- [10] California Vision of Oil Gas and Geothermal Resources. 2004. Geothermal Injection Wells.: California Vision of Oil Gas and Geothermal Resources. Available at [http://www.consrv.ca.gov/DOG/geothermal/general\\_info/injection\\_wells.htm](http://www.consrv.ca.gov/DOG/geothermal/general_info/injection_wells.htm) (accessed on March 2006).
- [11] Crecilius, E.A.; Robertson, D.E.; Fruchter, J.S.; and Ludwick, J.D. 1976. Chemical forms of mercury and arsenic emitted by a geothermal power plant. 10th Annual Conference on Trace Substances in Environmental Health. University of Missouri, Columbia, Missouri, United States.
- [12] Dipippo, R. 1999. Small Geothermal energy Plant, Design, Performance and Economics. Geothermal Research Council Bulletin (June). Davis, Ca.
- [13] Duffield, W.A., Sass, J.H, 2003. Geothermal Energy – Clean Power from the Earth’s Heat. U.S. Geological Survey. Circular 1249. p. 43.
- [14] FME (Federal Ministry for the Environment of Germany). 2005. Geothermal Energy – Energy for the



- Future. Werner Burchmann, ed. Berlin, Germany: Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Available at [www.bmu.de](http://www.bmu.de). (accessed March 2006).
- [15] Geothermal Hot Line. 1996. Subsidence and Uplift at Heber Geothermal Field. California.
- [16] Geothermal Regulatory and Reclamation Program at DOGAMI. Department of Geology and Minerals Industries. Portland, OR. Available at <http://www.oregongeology.com/sub/oil/oilhome.htm> (accessed on March 2006).
- [17] Geothermal Training Programme Reports. 2003. Orkustofnun, Grensásvegur 9, Number 5 IS-108. Reykjavík, Iceland.
- [18] Gutierrez-Negrin, L.C.A., and Quijano-Leon, J.L. 2004. Analysis of Seismicity in the Los Humeros, Mexico, Geothermal Field. Geothermal Resources Council Transactions 28: 467–72.
- [19] Hiroyuki T., H. Takagi, Y. Kiyota, K., Matsuda, Hideki Hatanaka, Kanichi Shimada, Hirofumi Inuyama, Roger Young, Larry F. Bayrante, Oliver T. Jordan, Jesus Reymundo M. Salera, and Francis Edward B. Bayon. 2000. Development and Verification of a Method to Forecast Hot Springs Interference due to Geothermal Power Exploitation. Proceedings World Geothermal Congress 2000. Kyushu-Tohoku, Japan, May 28–June 10, 2000.
- [20] International Geothermal Association. 2001. Report of the IGA to the UN Commission on Sustainable Development, Session 9 (CSD-9), New York, April 2001.
- [21] International Energy Agency. 2003. Appendices to Report on Benign Energy: The Environmental Implications of Renewables. Appendix G Geothermal Paris, France: International Energy Agency. Available at <http://www.iea.org/pubs/studies/files/benign/pubs/append3g.pdf> (accessed on March 2003).
- [22] Kagel, A., D. Bates, and K. Gawell. 2005. Clear the Air: Air Emissions from Geothermal Electric Power Facilities Compared to Fossil-Fuel Power Plants in the United States. Washington, DC: Geothermal Energy Association, GRC Bulletin, May/June.
- [23] Kestin, J. (Editor). Source book on the production of electricity from Geothermal Energy. US Department of Energy. Division of Geothermal Energy. Washington, D.C.
- [24] Krzan, Zbigniew. 1995. “Environmental Protection of the Tatra, Pieniny and Gorge Mountains by the Use of Geothermal Energy.” WGC 4: 2799–800.
- [25] Lienau, P.J., and Lunis, B.C. (editors), 1991. Geothermal direct use engineering and design guidebook. Geoheat Center, Oregon Institute of Technology.
- [26] Lunis, B., and Breckenridge, R. 1991. “Environmental considerations.” In Lienau, P.J. and Lunis, B.C., eds., Geothermal Direct Use, Engineering and Design Guidebook, 437–45. Klamath Falls, Oregon: Geo-Heat Center.
- [27] Philippines DOE (Department of Energy). 2002. Guidelines for Geothermal Operations in the Philippines. Bureau Circular No. 83-01-02 .Manila. DOE. Available at [www.doe.gov.ph/peer2005](http://www.doe.gov.ph/peer2005) (accessed on March 2003).
- [28] Reed, Marshall J., and J. Renner. 1995. “Environmental Compatibility of Geothermal Energy.” In F.S. Sterret, eds., Alternative Fuels and the Environment. Boca Raton: CRC Press.



- [29] Takashashi, K, M. Kuragaki, 2000. Yanaizu-Nishiyama geothermal power station H2S Abatement. Proceedings of World Geothermal Congress, Beppu, Japan, 2000. pp. 719-724.
- [30] Timperly, M.H., and L.F. Hill, (1997). Discharge of mercury from the Wairakei geothermal power station to the Waikato River, New Zealand. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 1997, Vol. 31: 327-336.
- [31] UNEP (United Nations Environmental Programme). 2005. Guidelines for Geothermal Energy Systems (Release 1.0) Environmental Due Diligences of Renewable Energy Projects, United Nations Environmental Programme. UNEP. Available at [www.energy-base.org/fileadmin/media/sefi/docs/edd\\_geothermal.pdf](http://www.energy-base.org/fileadmin/media/sefi/docs/edd_geothermal.pdf) (accessed on November 5, 2005).
- [32] U.S. DOE (U.S. Department of Energy), 2000. Revised Geothermal Safety and health rules and regulations. Department Circular 2000-02-001. Washington DC.
- [33] US DOE (U.S. Department of Energy). 2001. Energy and Geosciences Institute at University of Utah. Geothermal Energy: Clean Sustainable Energy for the Benefit of Humanity and the Environment (Brochure). Washington, DC: US DOE. Available at <http://www.geo-energy.org/RedBrochure.pdf> (accessed on October 2004).
- [34] US DOE (U.S. Department of Energy), Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE). 2004. Geothermal Technologies Program. Geothermal energy Plants.. Washington, DC: US DOE/EERE. Available at <http://www.eere.gov/geothermal/powerplants.html> (accessed on December 6, 2004).
- [35] US DOE (U.S. Department of Energy), Geothermal Technologies Program. 2004. Geopowering the West: Hawaii Facts Sheet. December 21, 2004. Washington, DC: US DOE. Available at [http://www.eere.energy.gov/geothermal/gpw\\_hawaii.html](http://www.eere.energy.gov/geothermal/gpw_hawaii.html) (accessed on March 2006).
- [36] U.S. DOE (U.S. Department of Energy), NERL (National Renewable Energy Laboratory). 2001. Geothermal Energy: Heat from the Earth (Publication No. DOE/GO – 102001-1432). Washington, DC: US DOE/NERL. Available at <http://www.nrel.gov/dos/fy02osti/29214/pdf> (accessed on December 6, 2004).
- [37] Utah Water Quality Act. 2004. The Utah Water Quality Act and Title R317-Environmental Quality and Water Quality, 2004. State of Utah.
- [38] Weres, O. 1984. Environmental Protection and the Chemistry of Geothermal Fluids. Berkley, CA.: Lawrence Berkeley Laboratory, LBL 14403.
- [39] World Bank Group. 2002. Geothermal Energy. Washington, DC: World Bank Group. Available at <http://www.worldbank.org/html/fpd/energy/geothermal/> (accessed on December 6, 2004).
- [40] World Health Organization (WHO), Air Quality Guidelines, Second Edition, Geneva, 2000. Available at [http://www.euro.who.int/air/activities/20050223\\_3](http://www.euro.who.int/air/activities/20050223_3) (accessed on September 11, 2006).
- [41] World Energy Council website (June 2006): [http://www.worldenergy.org/wecgeis/publications/default/tech\\_papers/17th\\_congress/3\\_1\\_17.asp](http://www.worldenergy.org/wecgeis/publications/default/tech_papers/17th_congress/3_1_17.asp).
- [42] Wright, P.M. 1998. The Sustainability of Production from Geothermal Resources. Bulletin. Geo-Heat Center 19 (2): 9–12.



## 附录 A：行业活动的通用描述

地热发电利用高温地热水或蒸汽的地下储层将热能转换为电能。地热发电厂的地址通常毗邻地热源以减少运输造成的热量损失。较长距离的输电和配电可通过规模适当的电力线路实现。地热发电厂的占地面积通常为每兆瓦 (MW) 0.5 至 3.5 公顷。一体化的地热开发利用可在提供电力的同时将排出的地热流体的剩余热量用于各种可能的下游产业，如温室、水产养殖、空间加热、食品/水果加工、酒店/水疗中心康乐等。<sup>1</sup>

地热发电设施的基本组成部分包括获取蒸汽和过热地下水的地热井、汽轮机、发电机、冷凝器、冷却塔、回灌泵和电网联网设备等。

地热能源项目涉及三个主要阶段，包括勘探和储层评价、生产地热田的开发、电厂建设等。

勘探和储层评价工作包括地质、地球物理以及为勘探性钻探和储层调查进行的钻井勘定。

生产地热田的开发包括钻蒸汽或热水生产井和回注井，处理储层的输出使其用于电厂。钻井将在整个项目周期内持续不断地进行，因为生产井和注水井需要定期更新以满足发电的要求。

电厂建设工作包括发电厂设施及相关基础设施的建设，包括冷却水塔、管线、废水和气体的处理和回灌设施等。其他工作包括建立沉淀池以支持钻井和试井、建造进出道路、存储码头以及维修设施等。

运行工作包括对地热发电厂的例行操作及维修、地热井场的监测和维护、定期钻生产井和注入井、地热流体处理以及管道维修等。

过热的地热流体通常含有一些溶解的金属和气体。通常将废水污水和气体重新注入储层或其周边，以尽量减少对地下水的潜在污染。不可能回灌废水液体和气体的环境下，有时需要建造带有泻湖封盖的沉淀/冷却池以对气体进行捕获和清洗。

根据地热发电设施的设计，冷却水塔的循环可使用地热流体或从地表水源借调的水。危险固体废物可能来自冷凝物内部硫沉淀物，排放前应予以去除并妥善存放在现场。

主要有两种类型的地热源：干蒸汽和热水。<sup>18</sup> 地热源为干燥蒸汽源时，生产井输出的是可直接用于运行涡轮发电机的干蒸汽，而地热源为热水源时，生产井输出的是高温 (> 180°C) 的水。对于温度低于 180°C 的水源，有可能通过使用二级流体的二元循环系统实现发电，具体解释如下。

地热发电项目一般涉及下列工艺之一或下列工艺的组合：

- 地热闪蒸汽：热水源的温度高于 180°C 时，可通过“闪蒸”技术在蒸汽分离器中提取一些高压蒸汽来运行发电机，这时可将蒸汽从热水源分离并用于发电。单闪蒸、双闪蒸和偶尔的三闪蒸都属于常见技术。蒸汽部分可用于涡轮机而余下的热水可能被排出或重新注入储层。
- 地热二元工艺：地热资源的温度低于 180°C 时，使用低沸点流体，如异丁烯、异戊烷或氨-水混合物等的二级循环连接热源（地热流体）和涡轮机。

<sup>1</sup> Lienau 和 Lunis (1991)

<sup>18</sup> Duffield 和 Sass (2003)



- 结合地热闪蒸/二元发电工艺：同时使用闪蒸和二元发电技术以提高效率。
- 地热干蒸汽干燥工艺：将生产井输出的高压干蒸汽直接用于涡轮机发电。干蒸汽资源是十分宝贵的，但比较少见。