

---

# 地下水开发手册

Handbook of Ground Water Development

---

[美] 罗斯珂·摩斯公司 (Roscoe Moss Company) 著

吴朝玉 译



中国水利水电出版社

[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)



# 地下水开发手册

[美] 罗斯珂·摩斯公司 著  
吴朝玉 译



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

北京市版权局著作权合同登记号：图字 01 - 2009 - 1032

Handbook of Ground Water Development/Roscoe Moss Company.

Copyright © 1990 by John Wiley & Sons, Inc.

All Rights Reserved. This translation published under license.

Copies of this book sold without a Wiley sticker on the cover are unauthorized and illegal.

责任编辑：牛慧兰

### 图书在版编目 (CIP) 数据

地下水开发手册/美国罗斯珂·摩斯公司著；吴朝玉译。—北京：中国水利水电出版社，2009  
书名原文：Handbook of Ground Water Development  
ISBN 978 - 7 - 5084 - 6320 - 9

I. 地… II. ①美…②吴… III. 地下水资源-资源开发-手册 IV. P641.8 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 026517 号

审图号：GS (2008) 2982 号

书 名	地下水开发手册
作 者	[美] 罗斯珂·摩斯公司 著 吴朝玉 译
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址：www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话：(010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话：(010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 36.25 印张 860 千字
版 次	2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	95.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

**本**书谨献以纪念罗斯珂·摩斯 (Roscoe Moss) 先生。罗斯珂·摩斯先生 1884 年出生于美国加利福尼亚州里弗拉 (Rivera, California), 1906 年加盟 S. A. Clanmpett 公司, 开钻井业先河。他 1917 年成为该公司合伙人, 并于 1926 年为独资经营者。在洛杉矶 (Los Angeles) 公司整合年代, 罗斯珂·摩斯先生将公司迁至洛杉矶现址, 并积极参与主持业务, 直至 1977 年逝世, 享年 93 岁。

罗斯珂·摩斯先生一生的业绩, 彰显于所属公司建造的成千上万口高产量水井, 这些水井主要分布于美国西南部地区和夏威夷 (Hawaii)。大多数水井都是为 20 世纪初铁路和矿业水源需要兴建的, 其后则多为适应农业发展和都市给水之需而建造的。以加利福尼亚州而论, 50% 的用水量均取自地下水源。20 世纪 30 年代, 罗斯珂·摩斯公司将业务扩展至美国东部, 60 年代和 70 年代, 又将业务扩展至美国的东南部、拉丁美洲以及北非和中东地区。

罗斯珂·摩斯先生创业始于地面水源不丰沛的美国西南部地区。在发现冲积平原地下存在大量水源后, 便开发取用深层地下水。深层地下水的开发利用需要各种先进的技术和优良的钻井、抽水设备。罗斯珂·摩斯先生也是这一地区筑井业的创新、改革者。他在改进水井设计, 改进营运整修和维护, 以及在更新井套管、滤网材料、钻井设备、钻井技术等诸多方面, 都作出了卓越的贡献。

罗斯珂·摩斯先生对地下水开发利用所开创的业绩是举世公认的。1946 年, 英国和印度政府曾礼聘罗斯珂·摩斯先生前往印度考察, 请他对全印度的地下水开发利用规划提出建议。

# 译者序

---

20世纪逾70多年，开发与利用地下水已成为美国水资源的重要组成部分，尤以美国加利福尼亚州和西南地区更为显著。加利福尼亚州为美国农工商业最为发达的地区，所引用的地下水达加利福尼亚州用水资源总量的50%以上。罗斯珂·摩斯（Roscoe Moss）公司实为美国大规模开发地下水资源之先驱。该公司积70余载的地下水开发与营运经验，并汇集了许多专家学者对这一综合科学技术研究成果，纂成专著——《地下水开发手册》。据悉，至今国内尚无此类专门著述，学者苦之，虽然中美国情不同，但取其所长，翻译本书乃为适应此种需要。

译者早年投笔从戎，血洒滇缅数十戈以抗日卫国；中年远走天涯，留学美国田纳西；毕业后从业美国大湖区域芝加哥密歇根湖航运水位调节，并参与美国西北部和加拿大西部水能开发逾20余载。译者深感国内人口众多，水资源不足，遂与几位国内留加学者诸君相约，穷数年精力，锲而不舍将该巨著译成中文。承原湖南省水利电力厅厅长、留加学者刘红运先生，原湖南省水利电力厅总工程师金德濂教授级高级工程师和重庆交通大学留加学者吴宋仁教授等的精心校订和鼎力支持，使得该手册的中译本得以面世，以飨国内读者。

译述力求信达，惟谬误之处，在所难免，深望海内积学大雅之士有以教正，则幸甚焉。

本书承译者贤内助——卢觉慧博士出资在国内出版，借以聊表对国内亿万同胞之感衷于万一。本书拟征得国务院水行政主管部门的同意后，以出资人卢觉慧和译者吴朝玉的名义，无偿捐赠给国家相关部委、省级水利厅（局）及水利勘测设计研究施工单位和相关高等院校、省级以上图书馆，以供参阅和收藏，为促进祖国地下水开发利用事业的发展尽一份力量。

译者 吴朝玉  
于加拿大温哥华  
2008年1月

# 序 言

---

长久以来，人们就渴望有一本地下水开发的综合性专著。但是由于这一专业高度分工，欲科学地了解地下水开发的缘起、系统和各种日新月异的新知识，其所涉及的科学技术门类繁多，而坊间已有的许多此类书籍仅涉及一些局部性的内容，且都囿于区域性范围内，仅适用于某些特殊情况。为了弥补这些缺陷，罗斯珂·摩斯公司（Roscoe Moss Co.）邀集了在这一多学科领域内具有专业才能的诸多专家学者，将他们积 80 余年来在水井设计和施工领域的实践经验汇集在一起。本书的成果还包含了许多尚未载于参考文献的极具价值的资讯，使在这一行业不同领域的工作人员，可从中获取更广泛的理论知识、应用技术和实践经验等。

本手册实为可供所有从业于地下水开发的工作人员——包括设计、施工、经营或操作人员研习和参考的一部专著。它不仅对各有关专题作出了概述而且还充分叙述了相关的细节，所涉及的内容范围对即将从事于这一行业的新人和学生，尤具特殊助益。

全书分为三部分，编排逻辑合理，由地下水缘起起述，进而阐述其发展过程和开发技术。第一部分主要讨论地下水性质，并论述如何寻找地下水；第二部分论述地下水开发工程设计及与施工有关的各种特殊技术问题；第三部分主要论述水井的实际营运与管理。

本手册着重论述的是高产地下水的生产设施和未达产量极限的水井所应用的各种材料，但对监测井并未加专述。本书包含了极具应用价值的地下水开发技术。从事于这种维护生命资源的读者将发现，本书是极有裨益的。

罗斯珂·摩斯二世  
乔治·摩斯  
于加利福尼亚洛杉矶

## 致 谢

---

这本涉及专业范围宽广的专著，实是由一群极具知名度的专家学者慷慨赞助所促成的。其中由 Occidental 学院的前地质系主任 Joe Birman 博士编著，Barbara Brannan 为其助理的“含水层地质构造”和“地下水勘察”，为本手册第 1 章和第 3 章，这两章提供了极有价值的内容；第 3 章更具体反映了 Birman 博士的丰富实践经验。

Marcel Mougne 博士著述了“地球物理测井法勘探”（第 4 章）。这一技术主要应用于探测石油，而将之应用于水井探测则需持久不懈地谨慎工作，且须不断地加以改进。Marcel Mougne 博士极富耐心地专注于这一艰巨项目，令人感佩。

罗斯珂·摩斯公司从事制作水井套管和滤网逾 60 年，因此我们感到它极适于编写“井套管和井滤器选择”（第 11 章）和“井孔设计”（第 6 章）。这两章均由该公司的专家著述，具体地反映了逾 80 年来广泛适用于地下水开采领域的钻井经验。“钻井装置”（第 7 章）基本上是由罗斯珂·摩斯公司的专家执笔的，而加利福尼亚州理工学院的 John List 博士提供了诸多增补资料。John List 博士还著述了“井套管和井滤器上的应力”（第 9 章），Gregory Gartell 也给予了协助。Gregory Gartell 博士同时也是“地层稳定器和滤层填料”（第 13 章）的执笔人。第 9 章所载材料均未见于其他专门著作，而在这一章里却提供了极有价值的资讯，这对水井工作人员和钻井承包商助益甚大。

“钻孔冲洗液”（第 8 章）是由 George Gray 博士起草的，很不幸他中途逝世了，遗下的工作是由其他人士来完成的。随着原用于石油钻井的地球物理探测技术的改进而适用于水井，Baroid 公司的专家 Sam Geffin 精于以上这两项技术，因此他完美地完成了该章未竟的工作。

水井中的“腐蚀与垢壳”（第 10 章），虽有不少刊物都已刊登过有关这一重要课题的文章，但对于水井环境均不切题。由于罗斯珂·摩斯公司对这一专题独具不断增广的资讯，George Treweek 博士对这一复杂的专题作出了精确的论述。已作古的 Jack Rossom 曾服务于加利福尼亚州水务公司多年，是一位水质化学专家，他根据其多年观察和实践工作经验，襄助了 Gordon 博士。Gordon 博士是一位环境化学专家，故能就各种复杂的化学反应和由此而发生的腐蚀和结垢加以具体分析论述，本章对水井设计极具效益。

“水井的水泥封包”（第 12 章）是由 Dwight Smith 著述的。Dwight Smith 最近从 Halliburton 公司退休，由于水泥灌浆固井工艺始自石油工业，而由石油工业采集到的资料难以直接应用于水井，故 Dwight Smith 付出了极大的耐心和毅力来撰写，令我们深受感动。

第 14 章“成井”的技术内容是积多年的实践经验。本章最初由 Jack Scheligs 著述，其后经 John List 博士和罗斯珂·摩斯公司同仁予以增补才完成的。

Walt Webster 现已退休，以前曾服务于 Herkenhoff 联合公司。Albsquerpue 著述了“立式涡轮泵”（第 16 章），并由 Jack Wade、Mike Rossi 和 Rob Guizetta 予以增补。他们均服务于加利福尼亚州水务公司，他们的贡献和热忱令人感佩。本章由 Johnson 泵公司退休的水力总工程师 John Diemas 作了仔细的复核。

虽然“水井和水泵的运行与维护保养”（第 17 章）依据的是罗斯珂·摩斯公司的具体经验，但 San Jose 水务公司的 Paul Schreiber 是罗斯珂·摩斯公司外请的一位主要作者。Carl Nuzman 和 Wayne Langley 均服务于 Layne Western 公司，他们增补了有关水井维护的重要内容。罗斯珂·摩斯公司的 Jacqueline s. Brophy 校核了本章，并增补了诸多极有助益的资料。

我们要深深感谢 Scott Yoo 博士对“地下水性质及污染”（第 18 章）的论述。Scott Yoo 博士以专家学者身份对这一恶名昭著部分作了大量的专门研究，这在环境保护领域是至关重要的。Jack Rossum 根据他多年的实际经验，对本章也提供了诸多有用的资料。

我们应特别衷心感谢 Dennis Williams 博士。Dennis 共编写了 5 章，包括：“地下水运动”（第 2 章）、“井孔水力学”（第 5 章）、“井和含水层抽水试验的评价”（第 15 章）、“人工补水”（第 19 章）和“地下水管理”（第 20 章）。这 5 章具体反映了具有普遍价值的经验，是一部专精于地下水水力学的力作。Dennis 在这一方面的知识，传承于两位传奇名师——M. A. Hantush 和 C. E. Jacob。基于此，Dennis 开拓了这一学科的新领域。最值得令人专注的是，近年来他致力于近井乱流的研究，同时，他还应用数字计算机技术来求解地下水的数学方程，借此可更好地管理这一具有生机的资源。

Dennis 花费了他整整七年的心血专注于这一艰巨工作，并完成了本手册，取得了令人称奇的卓越成就。

本书的编写范围和章节编排，是由罗斯珂·摩斯二世和乔治·摩斯所确定的，主要编辑工作也是由他们完成的。必要的程序和纷繁稿件的编排则是由 Ofelia M. Quintero 完成的。图表的描绘则是由 Glenn Spencer 精心完成的，他的卓越技能仿如电子模拟，竟将诸多的资料转换成为了清楚的图解说明。

本手册经由 Kenneth G. Brown 协调、联系以至付梓，才得以面世的。Kenneth 具有极好的公关协调才能，他多方联系，搜集到了美国几十年历史的水井资料；罗斯珂·摩斯公司在海外开发的有关水井图例，也都是由他辑成的。编辑这些资料成为有助于这一行业的一部卓越专著，他的毅力、幽默和耐心，均无可代替。如果没有上述这些专家学者和志士仁人的共同努力和竭诚奉献，可以断言，本书是难以问世的。

罗斯珂·摩斯二世  
乔治·摩斯



# 目 录

译者序

序言

致谢

## 第 1 部分 地 下 水

<b>第 1 章 含水层地质构造</b> .....	3
1.1 引言 .....	3
1.2 水的循环 .....	4
1.3 地下水的储藏 .....	6
1.4 原生水 .....	7
1.5 含水层 .....	7
1.6 含水层的孔隙率 .....	7
1.7 含水层的非均质性和各向异性 .....	11
1.8 含水层的裂隙——节理和断层 .....	12
1.9 含水层的特性 .....	12
1.10 地质构造知识的应用 .....	14
1.11 冰川沉积含水层 .....	15
1.12 基岩含水层 .....	16
1.13 火山岩含水层 .....	18
参考文献 .....	18
<b>第 2 章 地下水运动</b> .....	19
2.1 引言 .....	19
2.2 地下水运动的基本规律和法则 .....	19
2.3 地下水流的微分方程 .....	23
2.4 含水层的各种参数 .....	28
2.5 地下水运动原理的应用 .....	32
参考文献 .....	37
<b>第 3 章 地下水勘察</b> .....	38
3.1 引言 .....	38

3.2	地下水勘察计划的含义	39
3.3	地下水的初勘	39
3.4	水文地质调查	40
3.5	水文预报	44
3.6	水文地质勘察方法	47
3.7	地球物理勘探方法	48
3.8	资料综合分析法	56
3.9	试井钻探法	56
	参考文献	57
<b>第4章</b>	<b>地球物理测井法勘探</b>	<b>58</b>
4.1	引言	58
4.2	地层的电阻率和电导率	59
4.3	地层电阻率的测量原理	60
4.4	侧向电阻率测井的装置	69
4.5	自然电位测井的方法	72
4.6	含水层孔隙率的量测方法	80
4.7	含水层伽马射线测量法	82
4.8	其他测井装置	84
4.9	测量资料分析及其在水井竣工中的应用	85
	参考文献	88
<b>第5章</b>	<b>井孔水力学</b>	<b>90</b>
5.1	引言	90
5.2	含水层的泄降方程	92
5.3	特殊水井的含水层条件及其应用	98
5.4	水井和水井附近的特征	103
	参考文献	113

## 第 2 部分 地下水开发技术与装备

<b>第6章</b>	<b>井孔设计</b>	<b>117</b>
6.1	引言	117
6.2	设计目标	117
6.3	初步评估	117
6.4	井的使用	117
6.5	运营要求和其与供水系统的关系	117

6.6	井址的选择 .....	118
6.7	井的组成 .....	120
6.8	终井型式 .....	120
6.9	钻井方法 .....	120
6.10	井的选择和设计准则 .....	120
6.11	原态成井 .....	124
6.12	井深 .....	126
6.13	导向套管进深 .....	126
6.14	泵房套管进深 .....	127
6.15	套管直径的规定 .....	127
6.16	井滤器直径的规定 .....	128
6.17	井孔直径的规定 .....	129
6.18	井孔的垂直度和对中度 .....	129
6.19	检查井的垂直度和对中度的方法 .....	129
6.20	井偏的计算 .....	129
6.21	井偏图的绘制 .....	130
6.22	井台 .....	131
6.23	砾石喂料管 .....	131
6.24	测深管 (声纳管) .....	131
6.25	消毒 .....	132
<b>第7章</b>	<b>钻井装置 .....</b>	<b>133</b>
7.1	引言 .....	133
7.2	回转钻 .....	133
7.3	反循环回转钻井 .....	145
7.4	缆绳冲击钻井法 .....	148
7.5	钻井的基本系统和专用钻具种类 .....	156
	参考文献 .....	159
<b>第8章</b>	<b>钻孔冲洗液 .....</b>	<b>160</b>
8.1	引言 .....	160
8.2	钻孔冲洗液的功能 .....	160
8.3	钻孔冲洗液的分类 .....	164
8.4	钻孔冲洗液的流变性和成壁性 .....	165
8.5	淡水基钻孔冲洗液的主要成分 .....	167
8.6	钻孔冲洗液的掺加剂 .....	171
8.7	有机聚合物 .....	172

8.8	钻孔冲洗液的选择 .....	175
8.9	钻孔冲洗液的若干问题 .....	176
8.10	钻孔冲洗液各种性态的评价方法与步骤 .....	179
8.11	现场试验 .....	183
8.12	风钻系统 .....	183
	参考文献 .....	188
<b>第9章</b>	<b>井套管和井滤器上的应力 .....</b>	<b>189</b>
9.1	引言 .....	189
9.2	井套管和井滤器上的张拉应力 .....	189
9.3	井套管和井滤器上的径向力 .....	192
9.4	井套管的破坏强度 .....	194
9.5	美国石油学会 (API) 的破坏强度计算公式 .....	195
9.6	双层井套管的破坏强度 .....	197
9.7	水泥灌浆护层产生的附加强度 .....	198
9.8	安全系数 .....	198
9.9	热塑套管的破坏公式 .....	199
9.10	井滤器的破坏强度 .....	200
9.11	压荷载 .....	203
9.12	破裂强度 .....	205
9.13	弯曲应力 .....	205
9.14	荷载组合 .....	206
9.15	非正常荷载 .....	206
	参考文献 .....	210
<b>第10章</b>	<b>腐蚀与垢壳 .....</b>	<b>211</b>
10.1	引言 .....	211
10.2	化学平衡关系 .....	212
10.3	腐蚀理论 .....	214
10.4	井套管和井滤器的腐蚀 .....	224
10.5	垢壳 .....	229
	参考文献 .....	231
<b>第11章</b>	<b>井套管和井滤器选择 .....</b>	<b>234</b>
11.1	引言 .....	234
11.2	井套管 .....	234
11.3	井套管材料选择 .....	235
11.4	钢套管的加工工艺 .....	236

11.5	井套管和材料标准 .....	237
11.6	管端连接 .....	238
11.7	井套管附件 .....	239
11.8	井滤器 .....	241
11.9	井滤器入水口面积和入流速度 .....	244
11.10	井滤器类型 .....	247
11.11	井滤器材料选择 .....	250
11.12	井滤器的几何形状 .....	251
11.13	井滤器的孔口尺度 .....	251
11.14	井滤器附件 .....	252
	参考文献 .....	252
<b>第 12 章</b>	<b>水井的水泥封包 .....</b>	<b>253</b>
12.1	引言 .....	253
12.2	水井水泥封包的目的 .....	253
12.3	水井水泥封包的材料 .....	253
12.4	水泥掺加(添加)剂 .....	261
12.5	水泥浆拌和与灌注期应注意的问题 .....	267
12.6	水泥浆灌注技术 .....	270
12.7	水泥浆挤压灌注法 .....	273
12.8	衬管 .....	274
12.9	报废井(弃井)的填塞 .....	274
12.10	水泥浆灌注后应考虑的几个问题 .....	275
<b>第 13 章</b>	<b>地层稳定器和滤层填料 .....</b>	<b>277</b>
13.1	引言 .....	277
13.2	砾石封包设计准则 .....	277
13.3	砾石封包的必要性 .....	279
13.4	选择砾石级配的基本步骤 .....	279
13.5	选择封包材料级配的简化方法 .....	281
13.6	滤层材料穿过滤网的百分率 .....	283
13.7	辅装滤网 .....	283
13.8	滤层厚度 .....	284
13.9	砾石封包材料 .....	284
13.10	滤层灌填 .....	284
13.11	井孔状态 .....	286
13.12	砾石的消毒处理 .....	287

<b>第 14 章 成井</b> .....	288
14.1 引言 .....	288
14.2 成井 .....	288
14.3 成井的时效性 .....	288
14.4 成井的目的 .....	289
14.5 砾石封包井的成井目标 .....	289
14.6 预成井 .....	289
14.7 初期成井 .....	289
14.8 原态井的初期成井步骤 .....	292
14.9 气压成井 .....	294
14.10 利用化学剂成井 .....	296
14.11 后期成井 .....	297
14.12 成井抽水时的测量 .....	300
参考文献 .....	302
<b>第 15 章 井和含水层抽水试验的评价</b> .....	303
15.1 引言 .....	303
15.2 抽水试验类型 .....	303
15.3 抽水试验程序 .....	306
15.4 抽水试验范例 .....	311
15.5 各种抽水试验方法总结 .....	344
参考文献 .....	345

### 第 3 部分 地下水管理与应用

<b>第 16 章 立式涡轮泵</b> .....	349
16.1 引言 .....	349
16.2 涡轮泵的运行原理 .....	349
16.3 涡轮泵系统的组件 .....	349
16.4 涡轮泵的部件 .....	351
16.5 泵的比速 .....	358
16.6 泵的运行参数 .....	359
16.7 泵的各种能量损失 .....	361
16.8 泵系统组件效率 .....	366
16.9 泵系统的注意事项 .....	367
16.10 泵系统的设计要点 .....	368

16.11	泵的选择计算 .....	369
16.12	泵系统的仪器设备及其保护 .....	373
16.13	抽水站的运行控制 .....	373
<b>第 17 章</b>	<b>水井和水泵的运用与维护保养 .....</b>	<b>376</b>
17.1	引言 .....	376
17.2	基本资料 .....	376
17.3	水井与水泵的运用程序和记录 .....	379
17.4	水泵与水井性能的评价 .....	383
17.5	水泵功能退化的主要原因 .....	383
17.6	水井功能退化的主要原因 .....	384
17.7	水井的维护与修复 .....	387
17.8	井内出现在不同类型含水层中的特殊问题 .....	392
17.9	水井和水泵的评价方法 .....	393
	参考文献 .....	398
<b>第 18 章</b>	<b>地下水性质及污染 .....</b>	<b>399</b>
18.1	引言 .....	399
18.2	水质的判别标准 .....	403
18.3	水质的成分和特征 .....	411
18.4	地下水处理 .....	431
18.5	水质试验和记录 .....	435
	参考文献 .....	437
<b>第 19 章</b>	<b>人工补水 .....</b>	<b>439</b>
19.1	引言 .....	439
19.2	利于补水的条件 .....	439
19.3	人工补水方法 .....	440
19.4	人工补水水力学 .....	444
19.5	人工补水的实例 .....	447
	参考文献 .....	449
<b>第 20 章</b>	<b>地下水管理 .....</b>	<b>450</b>
20.1	引言 .....	450
20.2	安全产水量 .....	450
20.3	地下水管理方法 .....	456
20.4	地下水模拟 .....	458
	参考文献 .....	468

## 附 录

附录 A	地质水文资料和数据来源 .....	471
附录 B	美国地下水区域分布 .....	473
附录 C	水文预报参数值的估计方法 .....	479
附录 D	为估算水力导水率的粒径分析 .....	483
附录 E	回转式钻机系统的钻孔偏心因素的分析 .....	485
附录 F	施工现场套管的焊接 .....	489
附录 G	双井套管 .....	491
附录 H	水井套管性质和标准 .....	493
附录 I	气扬水泵的设计 .....	507
附录 J	砾石封包井初期成井的数学分析 .....	509
附录 K	地下水模拟 .....	526
参考文献	.....	534
索引	.....	535



# 第 1 部分

---

## 地 下 水