

关中盆地是一个快速沉积的盆地，西安市以及渭南市的故市镇是沉积相对较厚的地区，从区域资料来看关中盆地区200m以浅地层主要为第四系地层岩性主要为黄土、粉质粘土、粘土、古土壤、中细砂及砂砾卵石层，在盆地西部的宝鸡市分布有新近系砂泥岩，地层可钻性较强。根据上一轮调查评价成果采用类比法对关中盆地地埋管地源热泵适宜性进行了划分（图1），关中盆地大部分地区均为地埋管地源热泵适宜~较适宜区，渭河及其支流的部分漫滩区由于分布有较厚的砂砾卵石层，地层可钻性相对较差，因此该部分地区属于地埋管地源热泵不适宜区。

从划分结果来看，关中盆地89.2%的面积适合采用地埋管地源热泵系统开发利用浅层地热能资源，因此在关中盆地推广地埋管地源热泵系统开发利用浅层地热能资源前景广阔。

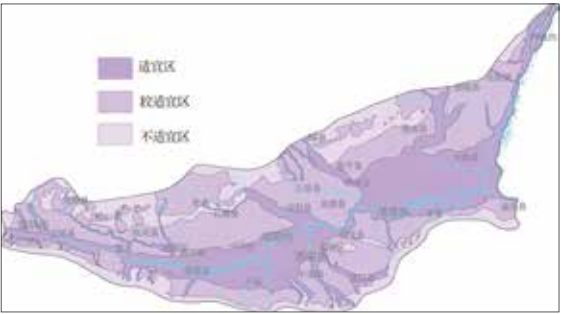


图1 关中盆地地埋管地源热泵适宜性分区图

2、关中盆地地下水地源热泵系统适宜性划分

关中盆地具有第四系松散岩类典型盆地的水文地质特征（表1），堆积厚度巨大的砂砾卵石及粉质粘土层，构成稳定的含水空间，潜水与承压水丰富，潜水含水层主要有分布于渭河等冲积平原冲积砂砾石层、洪积平原洪积泥沙与砂砾卵石层及黄土台塬风成黄土含水层。承压水含水层主要为第四系下更新统冲洪积、冲湖积砂、砂砾石层，宝鸡与蓝田一带为新近系较疏松的砂砾石层，含水层厚度一般在冲积平原中部及山前地带较大，并由山麓向盆地中西缓倾斜。

表1 关中盆地主要城市水文地质条件一览表	
西安	河流阶地、冲洪积扇处潜水单位涌水量$8\sim 30\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$左右，渭河南岸部分漫滩与一级阶地处单位涌水量大于$30\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$；黄土塬区黄土含水层渗透性差，富水性明显变弱，单位涌水量$0.76\sim 1.04\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$。区内潜水多为重碳酸钙型水，矿化度$0.2\sim 3\text{g}/\text{l}$，局部大于$3\text{g}/\text{l}$。 渭河、灞河、泾河漫滩承压水富水性较好，单位涌水量$8\sim 30\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$，草滩附近局部单位涌水量大于$30\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$；二级阶地及塬区富水性明显变弱，东南部鸣犊镇单位涌水量小于$1\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$。
咸阳	咸阳市地下水类型大致以$50\sim 60\text{m}$埋深为界，分为第四系潜水含水岩组和承压水含水岩组。潜水含水岩组广泛分布于调查区内第四系冲积层中，水位埋深在$9.15\sim 23.40\text{m}$之间，单位涌水量在$4.49\sim 34.96\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$之间。 承压水受东西向隐伏断裂的影响，断裂线岩性为粉质粘土，含水层厚度$50\sim 110\text{m}$。渗透系数$5.53\sim 23.90\text{m}/\text{d}$，单位涌水量$7.95\sim 31.16\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$。断裂以北岩性以粉质粘土、粉质砂土为主夹粉细砂、中粗砂及中粗砂含砾石。含水层厚度$30.27\sim 58.30\text{m}$，渗透系数$1.56\sim 6.13\text{m}/\text{d}$，单位涌水量$7.09\sim 9.79\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$。
宝鸡	区内潜水在漫滩与一级阶地区单位涌水量$10.92\sim 82.33\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$；高阶地及黄土塬区单位涌水量$0.94\sim 5.7\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$。 承压水含水岩组主要为第四系下更新统一新近系上新统冲积、冲洪积砂砾卵石。承压水含水岩相的沉积厚度，远离渭河河床变薄。
渭南	河漫滩、冲洪积扇含水层厚、岩性较粗、渗透较快，富水性较好，渗透系数介于$13.8\sim 98.1\text{m}/\text{d}$之间，涌水量在$860\sim 1500\text{m}^3/\text{d}$之间；渭河阶地区渗透系数$3.7\sim 8.48\text{m}/\text{d}$，涌水量仅$792\sim 968\text{m}^3/\text{d}$。 承压水位受地形地势影响较小，河漫滩、冲洪积扇处单位涌水量介于$5\sim 15\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$之间，渗透系数介于$20\sim 50\text{m}/\text{d}$之间；在渭河南部一级阶地后缘处，单位涌水量一般$<5\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$。
杨凌	潜水漫滩区单位涌水量$44.13\sim 61.34\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$，阶地区为$5.0\sim 49.23\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$。黄土台塬区单位涌水量小于$5.0\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$。 北部台塬区单位涌水量$3.79\sim 18.32\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$，导水系数$100\sim 540\text{m}^2/\text{d}$；二、三级阶地及塬前斜坡带单位涌水量$11.23\sim 36.6\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$。

关中盆地地下水资源较为丰富，在渭河及其支流的漫滩、低阶地以及洪积扇区含水岩组主要为砂、砂砾卵石层，富水性强~中等；根据以往调

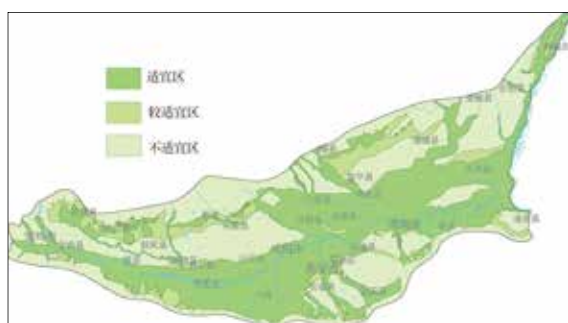


图2 关中盆地地下水地源热泵适宜性分区图

查成果及回灌试验数据综合分析上述地区灌采比1:2, 甚至部分地区可达到1:1, 因此这些区域为地下水地源热泵适宜~较适宜区(图2), 约占总面积的54.7%; 在黄土台塬区及渭河及其支流的高阶地区200m以浅的含水岩组主要为黄土, 地下水单位涌水量一般小于 $5\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$, 富水性弱, 回灌效果相对较差, 灌采比1:3, 且在后期运行过程中容易出现回灌通道堵塞, 地下水不能百分百回灌的情况, 因此这部分地区属地下水地源热泵不适宜区, 约占总面积的45.3%。

3、资源量估算

根据浅层地热能的利用特点, 采用热储法计算浅层地热能热容量。评价范围分别为地下水、地埋管地源热泵适宜区及较适宜区, 评价深度为地表以下200m。考虑到距离地表太近地层温度受气温和太阳辐射影响较大, 不具备浅层地热能开发价值, 因此计算深度定为地表以下3~200m, 总厚度为197m。根据计算结果, 关中经济区200m以浅的浅层地热能热容量为 $1.5 \times 10^{15}\text{kJ}/^\circ\text{C}$ 。

开发利用浅层地热能不仅替代了常规能源, 还在很大程度上改善了环境质量减少了常规能源使用带来的环境污染, 这些污染直接影响了大气环境对生态环境也产生了直接的影响, 人的生命健康也同样受到损害。本次评价以燃煤锅炉产生的环境污染进行对比评价浅层地热能环境效益。

参照《地热资源地质勘查规范》(GB/T11615-2010), 计算关中经济区浅层地热能开发利用减少的排放量及减排后节省的环境治理费等环境效益。通过计算当利用率为35%, 综合利用地下水地源热泵和地埋管地源热泵时, 开采浅层地热能资源每年可减少排放二氧化碳为57131.34万吨、

二氧化硫为407.05万吨、氮氧化物为143.67万吨、悬浮质粉尘为191.56万吨和灰渣为2394.44万吨, 减少环境治理费675.47亿元(表2)。

表2 关中盆地主要城市开发利用产生的环境效益一览表

项目	综合利用
减少二氧化碳排放量(万吨)	57131.34
减少二氧化硫排放量(万吨)	407.05
减少氮氧化物排放量(万吨)	143.67
减少悬浮质粉尘排放量(万吨)	191.56
减少灰渣排放量(万吨)	2394.44
节省的环境治理费(亿元)	675.47

三、浅层地热能资源在关中盆地的发展前景

近几年来我省关中盆地雾霾严重, 严重影响了人民群众的生产生活安全, 为确保城市环境质量改善向好, 2017年3月15日陕西省政府发布了《陕西省“铁腕治霾保卫蓝天”2017年工作方案》, 方案以“减煤、控车、抑尘、治源、禁燃、增绿”六策保卫蓝天白云, 西安市、咸阳市、宝鸡市、渭南市均制定了相应的减煤措施, 即在农村地区使用燃煤必须是优质煤, 这就增加了供暖的成本, 浅层地热能资源既是清洁能源, 又是可再生能源, 采用浅层地热能进行供暖/制冷可有效的减少污染物的排放, 达到治污减霾的作用。陕西省的能源消耗以不可再生资源——煤炭为主, 目前利用效率低, 污染大, 运费高。浅层地热能的研究对全省经济社会发展具有重要价值的应用研究, 属区域经济社会发展中的重点、难点和急需解决的科学技术问题; 关中盆地属大陆性季风气候区, 冬夏温差大, 为广泛应用浅层地热能提供了自然条件支持, 同时浅层地热能开发利用过程中带动地质学、材料学、传热学等多种理论的研究, 属具有产业化前景、覆盖面广、关联度高的核心技术。

综上, 在关中盆地推广开发利用浅层地热能资源的前景广阔, 根据目前我省的情况, 建议有条件的公用建筑采用浅层地热能资源供暖/制冷, 监测其建设成本、运行成本, 并对外界进行大力宣传, 使更多的单位能够了解开发利用浅层地热能资源的好处; 建议采用补贴的形式大力发展农村小型供暖/制冷站, 解决农村地区冬季供暖问题。

浅层地热能开发利用技术解析

◎ 省地质调查中心 赵智强

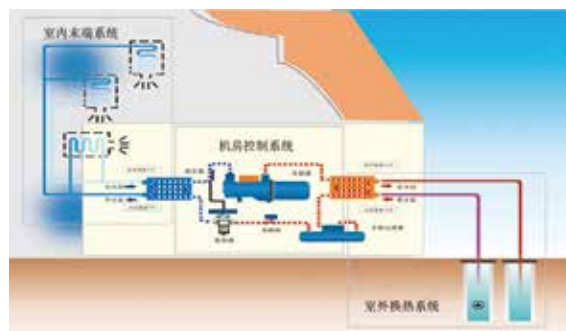
浅层地热能是指蕴藏在地表以下一定深度范围内（一般200m以浅）岩土体、地下水和地表水中具有开发利用价值的热能。浅层地热能是一种低品位能源，是地层深部热能向上传导与太阳辐射共同作用的结果，具有绿色环保、分布范围广、资源储量大等优点，但资源品位低，开发利用受气候条件、地质条件等限制，更适合于就地开发利用。

一、浅层地热能开发的支撑技术

浅层地热能开发利用主要借助于热泵技术。热泵技术是一项绿色节能技术，将从自然界的空气、水或土壤中获取的低品位热能，通过消耗一部分电能，提供可被人们所用的高品位热能，用于供暖/制冷及提供生活热水。热泵机组一般由压缩机、蒸发器、冷凝器和节流装置组成，通过让工质不断完成蒸发（吸取环境中的热量）→压缩→冷凝（放出热量）→节流→再蒸发的热力循环过程，从而将低温物体的热量转移到高温物体中。

浅层地热能开发主要依托地源热泵系统完成热交换、热转换及供热应用。地源热泵系统由地热能交换系统、热泵机组系统、建筑物内供热系统（室内末端）组成，以岩土体、地下水或地表水为低温热源，通过热泵机组，在冬季从水体或岩土体中提取热能，向建筑物供暖；在夏季吸收建筑物中的热量，释放到水体或岩土体中去，达到给建筑物室内制冷的目的。在整个地源热泵系统中，换热系统是整个系统的关键，为整个系统提供热量；热泵机组系统是整个系统的枢纽，将换热系统的低品位热量转化成可供利用的热量；供热系统主要由用户端的

取热设备组成，将浅层地热能用于建筑物供热/制



冷、生活热水供应、农业温室种植等。

图1 地源热泵系统

二、浅层地热能开发的主要形式

地源热泵系统根据地热能交换系统形式的不同，分为地下水地源热泵系统、地表水地源热泵系统、地埋管地源热泵系统以及污水源热泵系统等，其中最常用的是地下水源热泵系统、地表水源热泵系统和地埋管地源热泵系统。

1、地下水地源热泵系统

在地下水地源热泵系统中参与热交换的为地下水，其换热系统由开采井和回灌井组成，通过建造开采井（群）将地下水抽出，输送至水源热泵机组，经提取或释放热量后，由回灌井群注入地下原含水层中，完成从地下水中吸/放热过程。地下水地源热泵系统简便易行，综合造价低，水井占地面积小，可以满足大面积建筑物的供暖/制冷需求；但受当地水文地质条件的制约，只有在地下水源丰富、稳定、水质较好，并回灌地质条件的较好区域才能采用。