

中国グラウンドソースヒートポンプ技術の発展動向

中国建築科学研究院
徐偉、張時聡

一、中国におけるグラウンドソースヒートポンプ発展の背景

◇ グラウンドソースヒートポンプシステムの発展はわが国の建築省エネ推進に必要

現在、建築において消費されるエネルギーは全国総消費量の 27.5%を既に占めている。従って、建築の省エネを推進し、エネルギー消費を抑えて経済成長目標を実現することは、わが国の経済社会の持続可能な発展にとって非常に切迫した課題である。グラウンドソースヒートポンプシステムは、通常の熱供給空調システムに比べおよそ 50%のエネルギーが節約でき、しかも再生可能資源を利用し、省エネ効率が高く汚染が無いという、暖房も冷房も可能な新型空調システムである。

◇ グラウンドソースヒートポンプシステムの発展はわが国エネルギー構造の調整に必要

わが国は基本的国情と経済状況により長いあいだ一貫して石炭暖房を主としてきたため、北方地域は汚染が深刻で、エネルギー利用効率は低い。グラウンドソースヒートポンプ技術の発展は、わが国のエネルギー供給構造を是正するために必要であり、環境汚染を減らしエネルギーの安全を確保するための重要な保障でもある。

◇ グラウンドソースヒートポンプシステムの発展は再生可能エネルギー利用の重要な技術手段

現在、従来のエネルギーから徐々に再生可能エネルギーに替えていくことが世界の趨勢であり、わが国の『再生可能エネルギー法』公布にともない、再生可能エネルギーの発展を急ぐことが、国の掲げた節約型社会建設と循環経済発展の方針を実現する鍵の一つである。グラウンドソースヒートポンプ暖房空調システムは、地中のエネルギーを吸収し再びヒートポンプユニットで建築物に冷熱と温熱を供給することにより、商業ビルや公共建築、集合住宅、学校、病院などの建築物に幅広く応用でき、建築における再生可能エネルギー応用の重要な一環である。

◇ グラウンドソースヒートポンプの発展は中国の広大な地域ニーズ

中国は国土面積が極めて大きく、北から南へ 5 大気候区に分けられるが、冷房も暖房も必要とする地域がほとんどを占めている。同時に中国は浅層地表エネルギーが豊富で、グラウンドソースヒートポンプによる暖房空調システムを強力に発展させるのに適している。

◇ グラウンドソースヒートポンプシステムの発展は中国 HVAC 産業の技術発展方向

中国の一部の地域では、熱供給可能な石炭も天然ガスもないため、グラウンドソースヒ

ートポンプによる暖房空調システムの発展が、経済発展の要請であり市場発展の必然的趨勢でもある。

二、グラウンドソースヒートポンプシステムの分類と特徴

1) グラウンドソースヒートポンプの定義

『グラウンドソースヒートポンプシステム・エンジニアリング技術規範』(GB50366-2005)にグラウンドソースヒートポンプシステムについて次のように規定している——岩体や地下水もしくは地表水を低温熱源とし、水源ヒートポンプユニット・地中熱交換システム・建築物内システムから成る熱供給空調システム。地中熱交換システムの形式の違いによって、グラウンドソースヒートポンプ(GSHP)システムは、埋設管 GSHP システム、地下水 GSHP システム及び地表水 GSHP システムに分かれる。

2) グラウンドソースヒートポンプ (GSHP) の分類と特徴

◇ 埋設管 GSHP システム

埋設管 GSHP システムには大地結合熱交換器が含まれ、それが地下溝の中に水平に設置されるか、もしくは立て坑の中にU字管状に垂直に設置される。パイプ溝あるいは立て坑の中の異なる熱交換器は並列に連結し、これとは別の母管が建築の中に入ることによって、さらに建築物内の水循環路に連結する。熱交換器は循環液（水あるいは水を主体とする不凍液）がクローズドな地下埋設管内を流動することによってシステムと大地の間で熱の移動を実現する。

その長所は——システムは地下水量の影響を受けず、地下水に対しても破壊的影響や汚染を発生させず、システム運転の信頼性と安定性が高い。主な短所は——管壁の熱移動温度差によりヒートポンプユニットのグラウンドソース側の水温が、地下水式システムに比べ冬季は5~10℃低く、夏季は10~15℃高いため、ヒートポンプユニットの運転条件としては相対的に劣り運転効率は落ちる。／埋設熱交換器は土壌の性質から受ける影響が大きい。／連続運転時ヒートポンプの凝縮温度または蒸発温度が土壌の温度変化の影響を受けるため不安定になる。／土壌の熱伝導係数が小さいため埋設熱交換器の連続採熱速度が遅く、埋設熱交換器の面積を大きくしなければならない等。

◇ 地下水 GSHP システム

地下水 GSHP システムは2種類に分かれ、ひとつは通常オープンシステムと呼ばれ、もう一つはクローズドシステムである。オープンシステムは地下水を直接各ヒートポンプユニットに供給し、それから揚水を地下に還元するが、パイプが詰まる可能性があり、さらに重要なことは腐蝕する可能性があるため、通常は GSHP システムでは地下水の直接利用を推奨していない。クローズドシステムは、地下水と建築内の循環水の間はパネル式熱交換器で分離されており、システムには潜水ポンプを備えた揚水井と還元井があって、地下水は比較的深い位置にあり、地層の断熱作用によってその温度は季節の気温による変動が

少なく、特に深坑井の水温は一年中ほとんど変わらず、ヒートポンプの運転には非常に適している。

その長所は——システムが簡単でトータルコストが低く、坑井用地の面積も小さくて済み、大面積の建築物の暖房空調ニーズに対応できる。短所は——地下水ヒートポンプシステムには豊富で安定した良質な地下水を必要とする。／そのほか、たとえ水を全て還元できるとしても、地下水層が汚染されないよう如何に保証するかということも厄介な課題である。

◇ 地表水 GSHP システム

地表水 GSHP システムは、水面下に設置された多重並列のポリエチレン製パイプで構成された地下水熱交換器が、土壌熱交換器に取って代わったもので、土壌熱交換 GSHP と同様、それらが建築物の中に連結される。北方地域では凍結防止処理を必要とする。地表水 GSHP システムの熱源は池や湖沼または河川の地表水である。

その長所は——システムが簡便で実施しやすく、イニシャルコストが割合安価で済む。短所は——地表水 GSHP システムも自然条件の制約を受ける。／また、地表水温度は気候の影響が大きいので、空気熱源ヒートポンプに似て環境温度が低い時ほどヒートポンプの熱供給量が少なく、しかもヒートポンプの性能係数も下がる。／一定の地表水体が受ける冷熱負荷は、その面積・深さ・温度などさまざまなファクターが関係するため、具体的状況に基づいた計算を必要とする。／この種のヒートポンプの熱交換が水中の生態環境に与える影響について事前に検討しなければならない場合もある。

全体として、どの GSHP システムも際だった技術的長所を持つ——高効率で省エネ、無汚染で環境保護。GSHP システムは冬季暖房の場合、ボイラーもしくは補助加熱器増設の必要がなく、窒素酸化物・二酸化硫黄・スモッグの排出がないため、汚染がない。／分散暖房であるため、都市のエネルギー安全性が大幅に向上する。／安価なランニングコストと保守費用。簡単なシステム構成であるため GSHP システムは専門の監視要員を置く必要がなく、保守も頻繁に行う必要がない。／簡単な制御機器。運転は弾力性があり、システムの信頼性が高い。／省スペース。冷却塔やその他の室外機器もないため空間と土地を節約でき、建築物の外観イメージも改善される。／比較的長い耐用寿命。システム機器の平均寿命は通常 15 年以上である。／暖房空調と同時に生活給湯もできる。

三、国内におけるグラウンドソースヒートポンプシステムの発展

わが国では GSHP の研究は 20 世紀 80 年代に始まり、最近 5 年のあいだにこの技術は国内の建築省エネと HVAC 業界における研究課題として盛んに取り上げられるようになり、建設工事においても大量に応用され始め、それに関連したヒートポンプ製品が気運に乗じて開発され「地中熱空調」ブームが起こった。建設工事での応用面では、地下水 GSHP システムが最も数多く、応用範囲も最も広い。採用されているのは主に「揚水・還元別井」と「揚水・還元単一井」技術で、単一プロジェクトで最大の延床面積はすでに 16 万平米に達している。土壌源 GSHP は発展ピッチが最も速く、応用の潜在力が最も大きい。単一

プロジェクトで最大の延床面積はすでに 13 万平米に達している。地表水 GSHP システムは都市レベルのモデルプロジェクトの中で単体規模が最も大きい。1996 年から現在までに北京、山東、河南、遼寧、河北、江蘇、浙江、湖北、上海、チベット等で相次いで GSHP プロジェクトが完成し、応用範囲はわが国のほぼ全省をカバーした。北京だけを例にとると、2000 年北京市の浅層地中熱利用面積はわずか 17 万平米であったが、2005 年初頭には 500 万平米に達し、2005 年新たに増えた浅層地中熱の建築延床面積が 300 万平米あり、この時点で北京市だけで浅層地中熱利用面積は 800 万平米に達した。全国の GSHP システム応用面積はすでに 3000 万平米に迫っている。中でも地下水 GSHP システムの応用面積は全市場シェアの 45%を占め、土壌源 GSHP システムは約 35%、地表水 GSHP システムは約 20%である。現在、全国で建設中の GSHP プロジェクトが約 500 万平米あり、GSHP システム導入を計画中の建築延床面積は約 700 万平米ある。そのうち建設部と財政部が合同支援を立案した「第 11 期五か年計画期」省エネ及び再生可能エネルギー技術の市レベルモデルプロジェクトに入ったのが、北京、大連、重慶、南京、上海、成都、青島、麦城、フフホト政府新区などのプロジェクトである。

全体として、GSHP はわが国の長江・黄河流域、東北、西北、華北など冷房暖房ともに必要とする広大な地域で適用性が高く、夏季冷房のみ必要で冬季暖房は不要な南方地域でも一定の適用性があり、また条件の制約により冷暖房に石炭、電気、ガスを使うことができない地域では、更に最良の選択とすることができる。

四、グラウンドソースヒートポンプの経済性分析

◇ GSHP システムの価格差は主にシステムを使用する地域の違い、建築躯体構造の省エネレベルの違い、プロジェクトの種類と機能の違いから生ずる。現実の工事に基づいて計算すると、仮に地下水式 GSHP システムを採用した場合、システムのインシヤルコストは約 250～420 元/平米で、そのうち冷熱源部分の投資は約 150～220 元/平米である。また、土壌源 GSHP システムにした場合、インシヤルコストは約 300～480 元/平米かかり、そのうち冷熱源部分は約 200～270 元/平米となる。仮に現在の通常の単一暖房方式と比較すると、石炭ボイラー室の暖房システムの投資は約 150～200 元/平米で、ガス分散ボイラー室の暖房システム投資は約 100～150 元/平米、コージェネレーションによる集中熱供給システムの投資は約 200 元/平米（容量追加費含む）。GSHP システムは、インシヤルコストは高いものの、暖房空調・生活給湯といったマルチ機能を持つのに対し、従来の集中熱供給は基本的に暖房機能のみであるため、完全な比較はできない。

◇ GSHP システムをビル空調システムに採用すると、そのランニングコストを大幅に低減することができる。GSHP システムで暖房した場合、地域や気候、資源、環境の違いに基づき、そのランニングコストは従来のセントラルエアコンシステムより 25～50%低減できる。例えば北京市のタイプの異なる 11 の GSHP 建築プロジェクトで、2003 年から 2004 年に冬季のランニングコストを調査した結果をみると、7プロジェクトで石炭による集中熱供給の暖房価格（18.5 元/平米）を下回り、全ての被調査プロジェクトで灯油、ガス及び電気によるボイラーの暖房価格を下回った。GSHP システムで冷房を行った場合、そのランニングコストは従来のセントラルエアコンシステムより 15～30%低減できる。

◇ GSHP 技術が徐々に普及応用され、行政府による助成が徐々に整備され、産業化規模が絶えず拡大し、メーカーとシステムインテグレーターが徐々に増え、市場競争が激しくなっていくにつれて、GSHP システムのイニシャルコストはもっと下がると思われる。GSHP システムのコストは、約 50～100 元/平米の低減余地があるはずである。

五、中国におけるグラウンドソースヒートポンプ発展の阻害要因

1) 政府の政策支援と財政補助がやや弱い

GSHP は省エネと環境保護につながる技術体系であるが、現在のところ不動産での応用普及においては投資がまだ相対的に高く、デベロッパーは自社のシステムでこの技術を採用したがらず、政府も政策支援の力がまだやや弱く、奨励政策や助成政策もまだ明確ではない。海外の機構のように、この種のシステムに対して専門基金を設立してサポートすべきである。GSHP の市場は、政府が持続可能な発展という角度から、またエネルギー、環境保護と資源など各方面を総合的に考慮して、政策を調整し、その健全で秩序ある発展を促す必要がある。

2) GSHP システムの開発はまだ不十分

GSHP は新しい技術の一つとして、今のところ国家基準規範、宣伝材料、システム図面集などまだ不十分であると同時に、研究面においてまだ攻略できていない問題がある。例えば——土壤源 GSHP システムの地下温度場の計算方法が統一されていない。／海水源 GSHP システムの海水取水口の設置。／地下水 GSHP の地下パイプ坑井の設計と施工、水源の探査と採掘、給水濾過、水質防腐処理、揚水と還元のトータル技術等の問題がいずれもまだ良い解決法がない。／すでに完成し運転している GSHP システムに対し、その効果や性能に対する正確な評価体系がないこともその正常な発展を阻む原因の一つである。

「第 11 期五か年計画」国家科学技術支援計画プロジェクトにおける GSHP システムに関する解決課題として以下の諸点がある——地下水 GSHP が採用する揚水・還元方式が地下の生態環境に与える影響。／地下水 GSHP の坑井構築技術と揚水・還元技術、保守点検技術、揚水温度の計算方法研究。／土壤源 GSHP を採用する場合の地下水紋地質条件。／異なる孔分布密度に対応するそれぞれの総合熱移動係数の計算方法。／GSHP システムの評価指標体系。／汚水・海水源 GSHP の取水機器開発、汚水熱交換技術と専用熱交換器の開発など。

3) 国内 GSHP 製品メーカーの製品型番不全と信頼性問題

現在国内で生産されている水-水ヒートポンプのメーカーはすでに 20 社を超えているが、製品の性能と品質に対しては憂慮せざるを得ない。大部分の水-水ヒートポンプ製品は正確且つ厳格な設計計算が行われておらず、また権威ある機構による測定も行われたことがないため、製品の性能と製品カタログとの差が大きく、工事の失敗例は珍しくない。国産水-水ヒートポンプの品質向上が急務であり、製品の規格・型番・性能パラメータがバラバラでは評価しにくい。しかも今のところ国内では GSHP システムに使用する製品の規格型番が少なく、工事の必要条件を満たすのが難しい。

4) 必要な宣伝普及活動の不足

すでに成熟した技術が速やかに広範に普及していないことも、この技術の応用に対する障害となっている。GSHP 工事の設計は技術集積度の高い技術として、今のところ少数の科学研究団体だけに握られていて、各大型設計院の設計者はまだ完全に掌握していない。GSHP の普及応用を図るには、各専門・各分野の人同士の共同作業が不可欠であるが、現状では、行政府の政策面、主要機器の設計製造面、システムの設計と運転管理面など各方面からの共同参画が不十分である。

六、中国グラウンドソースヒートポンプの市場潜在力と発展動向

現在わが国の都市と農村における既存建築の延床総面積は約 400 億平米で、そのうち都市部は約 160 億平米、都市部における居住延床面積は約 105 億平米ある。その中で、建築省エネ基準をクリアできるのはわずか 5%に過ぎず、残りの 95%は将来省エネ改造を必要とする高消費エネルギー建築である。同時に、わが国で毎年新築される住宅の延床面積は約 20 億平米あり、2020 年末までに新築される住宅面積は 300 億平米に迫り、都市部においては新築の民用住宅延床面積が 100~150 億平米になると予測される。国民の生活レベル向上につれて、わが国における暖房実施ラインも徐々に南下していき、暖房実施面積が徐々に拡大していけば、新規建築のうち暖房供給を必要とする面積は 70 億平米以上になるろう。

専門家の推計によれば、現在わが国の発電設備の最大出力が 5.08 億 KW で、100 米以内の地下水から年間に採取できる低温エネルギーは約 2.2×10^8 KW、つまり発電最大出力の 43%に相当し、また 100 米弱以内の土壌から年間に採取できる低温エネルギーは 1.5×10^{12} KW、即ち発電最大出力の 2950 倍になるという。浅層地中熱の応用は依然膨大な市場発展の余地がある。仮に、全国で年間 1 億平米の建築に GSHP システムによる暖房空調が普及すれば、暖房季節の度に標準炭 374 万トン前後、もしくは天然ガス 25 億立方メートル前後に取って代わり、窒素酸化物約 6.4 万トン、二酸化炭素約 933 万トン、微粒子約 16 万トンの排出を削減できるという。

このような情況に基づき、建設部は「第 11 期五か年計画」期間に浅層地中熱の普及を図り、その利用面積を 2.4 億平米まで増やすと発表した。同時に北京市発展・改革委員会は、浅層地中熱の普及を引き続き強力に進め、現行の暖房の代替エネルギーとすることを表明した。今後、政府資金によるプロジェクト例えば政府機関、病院、学校など公共建築は全て、条件のあるところから優先的に浅層地中熱を利用することになっている。2010 年には北京市の浅層地中熱利用による暖房の建築が 2000 万平米になると見込んでいる。

再生可能エネルギーの発展に力を入れよ、との国の呼びかけに応えるため、現在は行政、技術研究、工事設計と据付、及び設備メーカーなど各部門が、ともに次の諸方面の課題に取り組んでいる——GSHP の普及応用を奨励するための特別基金設立を国に働きかける。／既存の GSHP 工事を調査して経験を総括する。／既存の GSHP に使用している全国の水紋地質資料を収集して、基本データベースを構築する。／GSHP 用パイプシャフトの設計と施工を行う専門組織を設立し、埋設管熱交換器の据付施工業者を整備し、適当な時期

に設計施工資質特別管理制度を確立する。／国家レベルと都市レベルの GSHP（海水源、汚水源、余熱熱源）工事モデル事業を展開し、正確で信頼性のある技術データを取得し、工事設計と据付及び運転を指導し、そのうえで国情にマッチし当該地域に適した GSHP ユニットを開発して、製品シリーズと規格を整備する。／GSHP 工事品質に対する行政府の監督管理を強化し、一過性のブームや贗ブランド・粗製濫造を防止して、GSHP の建築応用の健全な発展を図る。／GSHP とその他のエネルギーとの相互補完技術体系を開発し、その発展方向を開拓する。